



Tarım Bilimleri Dergisi
Tar. Bil. Der.

Dergi web sayfası:
www.agri.ankara.edu.tr/dergi

Journal of Agricultural Sciences

Journal homepage:
www.agri.ankara.edu.tr/journal

Mekanik Hasarsız Çarpma Tekniğiyle Domatesin Sertliğine Göre Sınıflandırılması

Kubilay Kazım VURSAVUŞ^a, Zehan KESİLMİŞ^b, Hande KÜÇÜKÖNDER^c

^a Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, 01330, Sarıçam, Adana, TÜRKİYE

^b Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 80000, Fakaşağı, Osmaniye, TÜRKİYE

^c Bartın Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, 74100, Bartın, TÜRKİYE

ESER BİLGİSİ

Araştırma Makalesi

Sorumlu Yazar: Kubilay Kazım VURSAVUŞ, E-posta: kuvursa@cu.edu.tr, Tel: +90 (322) 338 64 08

Geliş Tarihi: 08 Mayıs 2014, Düzeltmelerin Gelişi: 18 Haziran 2014, Kabul: 28 Haziran 2014

ÖZET

Bu çalışmada, mekanik hasarsız çarpma tekniği kullanılarak domatesin sertliklerine göre sınıflandırılması incelenmiştir. Denemelerde *Bandita F1* domates çeşidi kullanılmıştır. Düşük çarpma enerjili yanal çarpma aygıtı kullanılarak yapılan hasarsız çarpma ölçümlerinde, çarpma ivmesi ve temas zamanı, çarpma başlığı üzerine yerleştirilmiş ivme algılayıcı ile algılanmış ve ana çarpma parametreleri (maksimum çarpma ivmesi, maksimum çarpma ivmesinde ölçülen zaman ve temas zamanı) elde edilen eğrilerden bulunmuştur. Diğer çarpma parametreleri ana parametrelerden ve elastisite teorisinden türetilmiştir. Bu hasarsız çarpma parametreleri, hasarlı referans parametresi ile karşılaştırılmıştır. Hasarlı referans parametresi ölçümlerinde, kabuk yırtılma noktasındaki kuvvet-deformasyon oranı kullanılmış ve bu değer domates sertliği olarak ifade edilmiştir. Domateslerin sertlik gruplandırılmalarında kümeleme analizi kullanılmıştır. Ayrıca, domateslerin sınıflandırma işlemlerinde, sahip oldukları sertlik gruplarındaki hatalı sınıflandırma olasılığını minimize edecek hasarsız çarpma parametrelerinin optimum doğrusal kombinasyonlarını bulmak için, doğrusal ayırma analizi kullanılmıştır. Sınıflandırma hassasiyeti doğrusal ayırma analizi ile iyileştirilmiş ve işlenen parametre sayısı stepwise regresyon analizi ile azaltılmıştır. İstatistiksel analiz sonuçları, hasarlı referans ve hasarsız çarpma parametreleri arasındaki korelasyonun önemli olduğunu göstermiştir. Doğrusal ayırma analizi sonuçlarına göre, doğrusal sınıflandırma hassasiyeti ana çarpma parametreleri yaklaşımı için % 77.27 ve on çarpma parametre yaklaşımı için de % 81.82 olarak bulunmuştur. Ayrıca, stepwise regresyon analizi ile belirlenmiş olan en önemli üç çarpma parametresi kullanılarak yapılan doğrusal ayırma analizi sonuçları, domateslerin doğru sınıflandırma hassasiyetinin % 82.96'ya yükseltildiğini göstermiştir. Sonuç olarak, statik koşullarda test edilmiş olan mekanik hasarsız çarpma test cihazı domates için yüksek sınıflandırma hassasiyeti sonuçları vermiştir. Bu performans, mekanik hasarsız çarpma tekniğinin, domateslerin elektronik sınıflandırma hattında gerçek zamanlı sertlik sınıflandırma amaçlı kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Hasarsız çarpma cihazı; Yanal çarpma aygıtı; Domates sertliği; Kümeleme analizi; Doğrusal ayırma analizi

Firmness Classification of Tomato by Mechanical Nondestructive Impact Technique

ARTICLE INFO

Research Article

Corresponding Author: Kubilay Kazım VURSAVUŞ, E-mail: kuvursa@cu.edu.tr, Tel: +90 (322) 338 64 08

Received: 08 May 2014, Received in Revised Form: 18 June 2014, Accepted: 28 June 2014

ABSTRACT

In this study, firmness classification of tomato was aimed by using mechanical nondestructive impact technique. *Bandita FI* tomato variety was used during the tests. In the nondestructive impact measurements done by lateral impactor with low impact energy, impact acceleration and contact time were sensed by an accelerometer attached on impact head, and main impact parameters (maximum impact acceleration, time required to reach maximum acceleration and contact time) were extracted from the curve. Other impact parameters were derived from the main impact parameters and theory of elasticity. These nondestructive impact parameters were compared with destructive reference parameters. Force-deformation ratio at rupture point was used in the measurements of destructive reference parameter and this was expressed to be tomato firmness. Cluster analysis was used for firmness groups of tomatoes. Furthermore, linear discriminating analysis was used to find an optimum linear combination of the impact parameters that minimizes the probability of misclassifying tomatoes into their respective groups for firmness classification procedure of tomatoes. The accuracy of classification was improved with linear discriminating analysis, and the number of parameters being processed was reduced with stepwise regression analysis. Statistical analysis showed that the correlations between destructive reference and nondestructive impact parameters were significant. According to the results of linear discriminating analysis, accuracy of the best classification for main impact parameter approach and all ten impact parameters approach was found to be 77.27% and 81.82%, respectively. Furthermore, linear discriminating analysis results for three most important impact parameters obtained with stepwise regression analysis showed that accuracy of the best classification of tomatoes was improved to 82.96%. As a result, mechanical nondestructive test device tested in static conditions gave high accuracy of classification for tomato. This performance shows that mechanical nondestructive impact technique could be used for real-time firmness classification of tomatoes in the electronic sorting line.

Keywords: Nondestructive impact device; Lateral impactor; Tomato firmness; Cluster analysis; Linear discriminating analysis

© Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi

1. Giriş

Bir meyvenin sertliği, o meyvenin mekanik, kimyasal ve reolojik özellikleri ile açıklanabilmektedir. Meyve sertliği olgunluk ile ters orantılıdır ve bu nedenle yaş meyve ve sebze sınıflandırmalarında alternatif olgunluk indeksi olarak kullanılabilir (Mohsenin 1970; Lesage & Destarin 1996). Domateste renk bir olgunluk parametresi olmakla birlikte sertlik domates meyve kalitesini belirleyen ana faktörlerden biridir. Tüketiciler domates kalitesini sertlik, renk ve tat ile algılayabilmektedir (Schotte et al 1994; Batu 2004; Yurtlu & Erdoğan 2005).

Yaş meyve ve sebzelerin sertlik ölçümlerinde yaygın olarak el tipi penetrometreler ya da bilgisayar kontrollü materyal test cihazları kullanılmaktadır ve bu ölçümler hasarlı ölçüm yöntemi olarak adlandırılmaktadır. Bu ölçüm yöntemleri, meyve ve sebzelerin otomasyona dayalı gerçek zamanlı sertlik sınıflandırmalarında kullanılamamaktadır. Ayrıca, sertlik ölçümünün insanlar tarafından yapılarak, uygulamada sınıflandırma işleminin gerçekleştirilmesi de mümkün görülmemektedir.

Domateslerin sertlik sınıflandırması için belirli bir standart değer bulunmamaktadır. Araştırmacılar tarafından yapılan domates sertlik sınıflandırmalarında, renk olgunluk safhaları dikkate alınarak sertlik sınıflandırmaları yapılmaktadır. Bui et al (2010) çalışmalarında renk dönüşüm dönemi, pembe olum, açık kırmızı olum ve kırmızı olum renk olgunluk safhalarını dikkate alarak ve 4 mm'lik batıcı uç kullanarak yapmış oldukları sertlik sınıflandırmalarında sertlik aralıklarının 2.261 N mm⁻¹ – 0.677 N mm⁻¹ aralığında olduğunu belirlemişlerdir. Batu (2004) araştırmasında domates meyvesi için 6 mm'lik batıcı uç kullanılarak yapmış olduğu quasi-statik ölçümlerde, 6 renk olgunluk aşamasını dikkate alarak 1.45 N mm⁻¹ üzeri (sert), 1.45 - 1.28 N mm⁻¹ aralığı (orta sert) ve 1.28 N mm⁻¹ den küçük (yumuşak) olmak üzere üç farklı sertlik grubu belirlemiştir. Kader et al (1978) çalışmalarında 6 farklı renk olgunluk aşaması için 2.2 N çift plaka sıkıştırma kuvvetinde oluşan deformasyon değerlerini dikkate alarak sertlik sınıflandırması belirlemişler ve çok sert domates için 0.8 mm ile çok

yumuşak domates için de 2.7 mm deformasyon değer aralıklarının alınması gerektiğini belirtmişlerdir. Sirisomboon et al (2012) çalışmalarında yeşil olum, pembe olum ve kırmızı olum renk safhalarına göre 2 mm'lik batıcı uç kullanarak yapmış oldukları sertlik sınıflandırmalarında $3.59-1.19 \text{ N mm}^{-1}$ sertlik aralığının sınıflandırma amaçlı kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Elektronik sınıflandırma hatlarında domatesler yeşil olum, pembe olum ve kırmızı olum olmak üzere üç farklı renk safhasına göre sınıflandırılmaktadır. Sertlik sınıflandırmasının da bu üç renk olum safhası dikkate alınarak sınıflandırma aralıklarının belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için domatesler, USDA standardında belirtilmiş olan 6 farklı renk olum safhasından yeşil olum ve renk kırılma dönemi sert, renk dönüşüm dönemi ile pembe olum dönemi orta sert ve açık kırmızı olum ve kırmızı olum dönemi de yumuşak sertlik grubu olarak belirlenmektedir (USDA 1976; Sirisomboon et al 2012a; Tiwari et al 2013).

Araştırmacılar günümüzde, meyve ve sebzelerin hasarsız sertlik algılamalarında değişik teknikleri kullanmayı denemişlerdir. Hasarsız olarak gerçekleştirilen ve uygulamaya aktarılabilen otomatik ürün sınıflama teknikleri ile ürün değerlendirmeleri hızlı, hasarsız, daha az maliyetli ve etkili bir şekilde yapılabilmektedir. Ayrıca, tüm ürün üzerinde ölçümler homojen bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Akustik, titreşim, yakın kızıl ötesi (NIR), mikro deformasyon ve çarpma tekniği uygulamada kullanılabilir sistemlere örnek olarak verilebilir (Chen 2001; Gutierrez et al 2007). Birçok araştırmacı meyve sertlik tahmini için çarpma tekniği kullanımına ilgi göstermiş ve bu konuda çok sayıda araştırma yapmışlardır.

Küresel uçlu bir yanal çarpma aygıtının mekanik hasarsız çarpma tekniği ile meyve yüzeyine çarpıtılması ve bu şekilde sertlik algılaması çalışması ilk kez Chen & Ruiz-Altisent (1996) tarafından yürütülmüştür. Garcia-Ramos (2001) araştırmasında ilk kez Chen & Ruiz-Altisent (1996) tarafından kullanılan prototip mekanik hasarsız çarpma ölçüm cihazını geliştirmiş ve deneysel bir paketleme hattı üzerine monte ederek test etmiştir. Ortiz-Canavate et al (2001) düşük çarpma enerjili yanal çarpma aygıtının yeni bir versiyonunu deneysel paketleme hattında test etmiş

ve bazı meyveler için yapılan sertlik sınıflandırma çalışmalarında başarılı sonuçlar elde edildiğini ifade etmiştir. Son yıllarda, Homer et al (2010) düşük çarpma enerjili yanal çarpma aygıtını elma, şeftali ve armut için test etmiş ve bu meyvelerin sertlik sınıflandırmalarındaki başarı yüzdelerini ortaya koymuşlardır. Araştırmacıların yapmış oldukları ölçümler sonucunda bu sistemin sertlik sınıflandırma amaçlı kullanılabilmesi ve özellikle şeftali ve armut meyvelerinde sınıflandırma başarı yüzdelerinin daha yüksek çıktığı sonucuna varılmıştır.

Şeftali, nektarin, armut, kivi ve elma gibi meyve türlerinin meyve sertliği tahminine ilişkin farklı mekanik çarpma teknikleri kullanılarak birçok araştırmacı tarafından çalışmalar yürütülmüştür. Fakat araştırmacıların hiç biri domatesin mekanik hasarsız sertlik sınıflandırmasında düşük çarpma enerjili (mekanik hasarsız çarpma etkili) yanal çarpma aygıtı kullanarak çalışma yürütmemişlerdir. Ayrıca, sertlik tahmininde önemli yeri olan matematiksel model geliştirmeye yönelik olarak, doğrusal ayırma analiz yönteminin kullanımına ilişkin bir çalışmaya da rastlanmamıştır. Bu çalışmada; (1) hasarlı referans ölçüm parametresi (domates sertliği) ve mekanik hasarsız çarpma parametreleri (maksimum çarpma ivmesi: A_{maks} , maksimum ivmeye kadarki çarpma süresi: t_{maks} , temas süresi: t_{temas} , A_{maks}/t_{maks} , $1/t_{maks}$, $(1/t_{maks})^{2.5}$, $(A_{maks}/t_{maks})^{1.25}$, $A_{maks}^{2.5}$, $A_{maks}/(t_{maks})^2$, $A_{maks}/(t_{temas})^2$) arasındaki ilişkileri belirlemek ve (2) doğrusal ayırma analiz yöntemi kullanılarak sertlik gruplarına ayırmada etkili olan yada olmayan çarpma parametrelerini belirlemek ve verilerin tahmin edildiği gibi sınıflandırılıp sınıflandırılmadığını test etmek amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

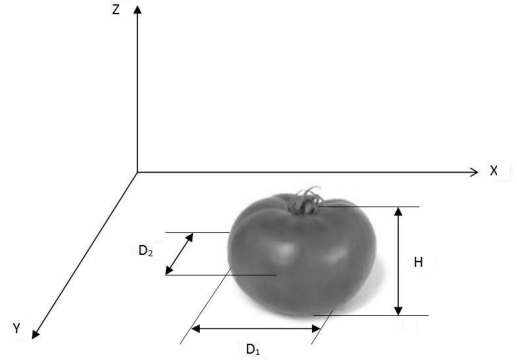
Bu çalışma, 2014 yılı Şubat ayında *Bandita F1* salkım sırık domates çeşidi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Denemeler süresince test edilen domatesler Adana ilindeki bir seradan temin edilmiştir. Domatesler değişik sertlik grupları oluşturmak amacıyla yeşil olum dönemi, renk kırılma dönemi, renk dönüşüm dönemi, pembe olum, açık kırmızı olum ve kırmızı olum gibi farklı olgunluk düzeylerinde hasat edilmiş ve denemeler süresince 88 adet domates test edilmiştir. Denemelerde kullanılan domateslerin ortalama kütle, ekvatorial çap, kalınlık ve yüksekliği

sırasıyla 103.89 ± 17.02 g, 60.49 ± 4.01 , 59.72 ± 3.75 mm ve 48.37 ± 4.16 mm olarak ölçülmüştür. Domateslerin üç ana boyutu Şekil 1’de verilmiştir.

Mekanik hasarsız çarpma tekniği kullanılarak yapılan ölçümlerde Chen & Ruiz-Altisent (1996) tarafından geliştirilen test cihazına benzer düşük çarpma enerjili test cihazı imal edilmiş ve denemelerde kullanılmıştır. Şekil 2’de verilen mekanik hasarsız test cihazının bileşenlerinden olan yanal çarpma aygıtı, toplam 26 g kütleye ve yarı küresel uçlu bir çarpma başlığına sahiptir.

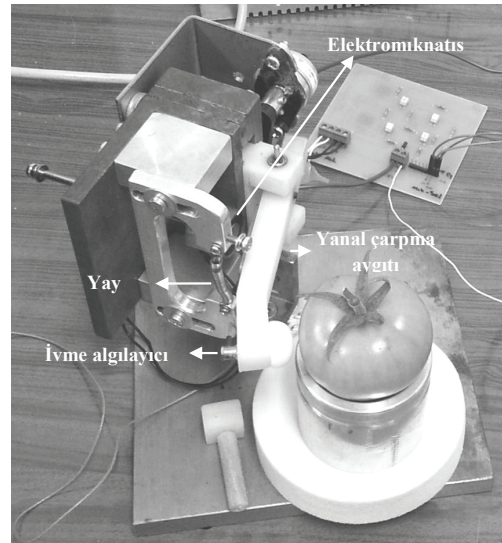
Yanal çarpma aygıtının yarı küresel çarpma başlığının arka kısmına $1.063 \text{ mV m}^{-1} \text{ s}^{-2}$ lik hassasiyete, 4900 m s^{-2} ölçüm sınırına ve 1.5 g kütleye sahip Bruel&Kjaer marka (DeltaTron® Accelerometer Type 4516) bir ivme algılayıcı yerleştirilmiştir. Yarı küresel çarpma başlığının eğrilik yarıçapı, Van linden et al (2006) tarafından önerildiği gibi 25 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Yanal çarpma aygıtı bir elektromıknatıs tarafından tutulmakta ve salınımı bir yay aracılığıyla sağlanmaktadır. Çarpma aygıtının elektromıknatıs tarafından tutulduğu anda yayı sıkıştırarak kazandığı potansiyel enerjisi elektromıknatısın enerjisini kesmesiyle birlikte salınım sırasında kinetik enerjiye dönüşmekte ve yaklaşık olarak 0.28 m s^{-1} hızla domates örneklerine çarptırılmaktadır (Garcia-Ramos 2001). Çarpma sırasında yanal çarpma aygıtının kinetik enerjisi yaklaşık olarak 1.02 mJ olarak hesaplanmıştır. Van linden et al (2006) çalışmalarında domateste zedelenme başlangıç olasılığının 24 mJ ‘lük düşük çarpma enerjisinde gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Bu yönüyle de test cihazının domates yüzeyinde mekanik hasar yaratma olasılığının çok düşük olacağı söylenebilir.

Denemelerde domates ile yarı küresel çarpma başlığı arasındaki mesafe Homer et al (2010) tarafından önerildiği gibi 2 cm olacak şekilde ayarlanmış ve her çarptırmadan önce bu mesafe kontrol edilmiştir. İvme algılayıcı sinyalleri NI 6221PCI veri toplama kartı kullanılarak alınmıştır. Alınan sinyaller tek kanallı bir yükseltici yardımıyla (Model 4102C, DYTRAN) yükseltilmiş ve veri toplama kartının 16 bit hassasiyetli analog-dijital dönüştürücüsü ile sayısallaştırılmıştır. İvme algılayıcı



Şekil 1- Domatesin üç ana boyutu: D_1 , ekvatorial çap; D_2 , kalınlık; H, yükseklik

Figure 1- Three major dimensions of tomato: D_1 , equatorial diameter; D_2 , thickness; H, height



Şekil 2- Mekanik hasarsız test cihazının genel görünüşü

Figure 2- General view from mechanical nondestructive impact device

sinyalleri, 100 kHz örnekleme aralığında seçilmiş ve belirlenen ivme verileri MATLAB yazılımı kullanılarak işlenmiştir. MATLAB yazılımı ara yüzünde ivme-zaman, hız-zaman ve deformasyon-zaman grafikleri eş zamanlı görüntülenebilmektedir. Ayrıca, A_{maks} , t_{maks} , t_{temas} gibi çarpma parametre

değerleri de okunabilmektedir. Yanal çarpma aygıtının küresel başlığı arka kısmına yerleştirilmiş olan ivme algılayıcı vasıtasıyla maksimum çarpma ivmesi: A_{maks} ($m s^{-2}$), maksimum ivmeye kadarki çarpma süresi: t_{maks} (ms) ve temas süresi: t_{temas} (ms) gibi ana çarpma parametreleri yaygın olarak meyve sertlik indeksi olarak araştırmacılar tarafından kullanılmıştır. (Chen & Ruiz-Altisent 1996; Chen & Tjan, 1998). Ana hasarsız çarpma parametreleri dışında kullanılan A_{maks}/t_{maks} , $1/t_{maks}$, $A_{maks}/(t_{maks})^2$, $A_{maks}/(t_{temas})^2$ gibi parametreler ana parametrelerden türetilmiş, $A_{maks}^{2.5}$, $(1/t_{maks})^{2.5}$ ve $(A_{maks}/t_{maks})^{1.25}$ gibi parametreler ise Elastisite Teorisi kullanılarak geliştirilen bazı parametreler olup Slaughter et al (2009) çalışmalarında tarafından önerildiği gibi seçilmiştir. Denemeler süresince 88 domates örneği ile çalışılmış olup ekvatorial bölgede işaretlenmiş 4 ayrı yer üzerinden çarptırma işlemleri uygulanmıştır. Toplamda 352 adet mekanik hasarsız çarptırma işlemi kaydedilmiş ve her domates örneğinde ekvatorial bölgenin 4 ayrı noktasında yapılan ölçüm değer ortalamaları, istatistiksel analizlerde kullanılmıştır.

Domateslerin sertlik ölçümlerinde Lloyd Üniversal Test cihazı (Lloyd Instrument LRX Plus Series) kullanılmıştır. Cihaz; hareketli başlık, hareket verme düzeni ve veri aktarma sistemi (yük hücresi, bilgisayar ve bağlantıları ile NEXYGEN Plus yazılım) olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır. Bu ölçümlerde 4 mm çaplı düz batıcı uç kullanılmış ve 10 mm min^{-1} 'lik yüklenme hızında çalışılmıştır (ASAE Standards 2009). Kuvvet-deformasyon grafikleri oluşturulurken batıcı uca 10 mm yol aldırılmıştır. Kabuk yırtılma noktasındaki kuvvet (F_{maks}) ile deformasyon (D_{maks}) oranı ($N mm^{-1}$) domates sertliği ($F_D = F_{maks}/D_{maks}$) olarak ifade edilmiştir. Hasarlı ölçüm referans testi olarak da adlandırılan domates sertlik ölçümleri, 88 adet domates örneğinde mekanik hasarsız çarpma ölçümlerinin yapıldığı 4 noktada gerçekleştirilmiştir. Toplamda 352 adet sertlik ölçümü yapılmış olup her domates örneği için ekvatorial bölgede ölçülen 4 değer ortalaması istatistiksel analizlerde dikkate alınmıştır.

Hasarlı referans (domates sertliği) ve hasarsız çarpma parametreleri arasındaki ilişki, Pearson Korelasyon testi ile belirlenmiştir. 88 adet domates için elde edilen ortalama sertlik değerleri kümeleme analizine tabi tutulmuş ve sertlik sınıf aralıklarının

ne olması gerektiğine karar verilmiştir. Farklı sertlik sınıfları arasında her bir ana çarpma parametresinin (A_{maks} , t_{maks} , t_{temas}) önem seviyesini karşılaştırmak amacıyla Scheffe testi kullanılmıştır. Doğrusal ayırma analizi, ayırma fonksiyonları aracılığıyla sertlik grupları arası ayrışma en fazla etki eden ayırıcı değişkenleri belirlemede ve yeni örneklerin hangi sertlik grubuna dahil edileceğini belirlemede kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Sertlik grubundaki hatalı sınıflandırılmış domateslerin bulunma olasılığını en aza indirmek için ayırma değişkenlerinin (A_{maks} , t_{maks} , t_{temas} , A_{maks}/t_{maks} , $1/t_{maks}$, $(1/t_{maks})^{2.5}$, $(A_{maks}/t_{maks})^{1.25}$, $A_{maks}^{2.5}$, $A_{maks}/(t_{maks})^2$, $A_{maks}/(t_{temas})^2$) optimum doğrusal kombinasyonlarını bulmak amacıyla da doğrusal ayırma analiz yöntemi kullanılmıştır. Bu analizde amaç hatalı sertlik sınıflandırma olasılığını en aza indirgeyerek domatesleri ait oldukları sertlik gruplarına doğru bir şekilde ayırmak ve grupların ortalamaları arasındaki farklılığın maksimum olmasını sağlamaktır. Doğrusal ayırma edici işlevlerinde değişkenler, stepwise regresyon analiz yöntemi kullanılarak hem ileri ve hem de geri aşamalı bir şekilde seçilmiştir. Eğer yumuşak sertlikteki domates örneği var olduğu sertlik grubunda sınıflandırılmışsa, bu domates doğru sınıflandırılmış olarak ifade edilmiştir. Tüm istatistiksel değerlendirmelerde SPSS 19.0 paket programından yararlanılmıştır. Hasarlı ölçüm (domates sertliği) ve hasarsız çarpma parametreleri, sembol ve birimleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1- Hasarsız çarpma ve hasarlı referans parametreleri

Table 1- Nondestructive impact and destructive reference parameters

Ölçüm tipi	Parametre	Ölçü birimi
Hasarsız	A_{maks}	$m s^{-2}$
	t_{maks}	ms
	t_{temas}	ms
	A_{maks}/t_{maks}	$m s^{-3}$
	$1/t_{maks}$	s^{-1}
	$(1/t_{maks})^{2.5}$	$s^{-2.5}$
	$(A_{maks}/t_{maks})^{1.25}$	$m^{1.25} s^{-3.75}$
	$A_{maks}^{2.5}$	$m^{2.5} s^{-5}$
	$A_{maks}/(t_{maks})^2$	$m s^{-4}$
	$A_{maks}/(t_{temas})^2$	$m s^{-4}$
Hasarlı	$F_D = F_{maks}/D_{maks}$	$N mm^{-1}$

Çizelge 2- Domates sertliği (F_D) ve hasarsız çarpma parametreleri arasındaki korelasyon katsayıları (r)Table 2- Correlation coefficients (r) between tomato firmness (F_D) and non-destructive impact parameters

Parametre	A_{maks}	t_{maks}	t_{temas}	A_{maks}/t_{maks}	$1/t_{maks}$	$(1/t_{maks})^{2.5}$	$(A_{maks}/t_{maks})^{1.25}$	$A_{maks}^{2.5}$	$A_{maks}/(t_{maks})^2$	$A_{maks}/(t_{temas})^2$
F_D	0.89**	-0.31	-0.72	0.81	0.42	0.49	0.82	0.92	0.76**	0.88**

** , tüm parametreler arasındaki ilişki $P < 0.01$ düzeyinde önemlidir

3. Bulgular ve Tartışma

Pearson korelasyon testine ilişkin, domates sertliği (F_{maks}/D_{maks}) ve hasarsız çarpma parametreleri arasındaki ilişki Çizelge 2’de verilmiştir. Çizelge 2’de görüldüğü gibi, domates sertliği ve hasarsız çarpma parametreleri arasındaki ilişki $P < 0.01$ seviyesinde önemli bulunmuştur. Hasarsız ana çarpma parametreleri arasındaki ilişkiler dikkate alındığında en yüksek ilişkinin domates sertliği (F_D) ile A_{maks} parametresi arasında ($r = 0.89$) olduğu belirlenmiştir. Chen & Ruiz-Altisent (1996) ve Yurtlu (2012) çalışmalarında, benzer sonuçları kivi ve şeftali meyvesi için araştırmalarında ifade etmişlerdir. Ayrıca, ana parametreler dışındaki hasarsız çarpma parametrelerinden $A_{maks}^{2.5}$ ile domates sertliği arasındaki ilişki de önemli düzeyde yüksek bulunmuştur ($r = 0.92$).

Domateslerin sertlik sınıflandırması için kullanılan farklı olgunluk düzeyindeki 88 adet veri öncelikle kümeleme analizine tabi tutulmuş ve sertlik sınıf aralıklarının ne olması gerektiğine karar verilmiştir. Üç farklı sertlik grubuna ait kümeleme analiz sonuçları Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3- Kümeleme analizi sonuçlarına göre domates sertlik grupları

Table 3- Tomato firmness groups according to cluster analysis results

Sertlik grubu	Adet	Domates sertliği ($N\ mm^{-1}$)	
		Ortalama	Sd \pm
Sert	13	3.43	0.92
Orta sert	48	1.95	0.90
Yumuşak	27	1.34	0.26

Sd, standard sapma

Çizelge 3’de görüldüğü gibi, 13 adet domates örneği $3.43 \pm 0.92\ N\ mm^{-1}$ ortalama değer ile sert grupta, 48 adet domates örneği $1.95 \pm 0.90\ N\ mm^{-1}$

ortalama ile orta sert grupta ve 27 adet domates örneği de $1.34 \pm 0.26\ N\ mm^{-1}$ ortalama değer ile yumuşak sınıflandırma grubunda yer almıştır. Kümeleme analizi ile oluşan sınıf aralıkları, yumuşak domates grubu için $F_D \leq 1.31\ N\ mm^{-1}$ orta sert domates grubu için $1.32 < F_D \leq 3.0\ N\ mm^{-1}$ ve sert domates grubu içinde $F_D \geq 3.1\ N\ mm^{-1}$ olarak belirlenmiştir. 88 adet domates örneği bu sertlik aralıkları dikkate alınarak sınıflandırılmıştır. Sirisomboon et al (2012a) ve Tiwari et al (2013) çalışmalarında önerdiği gibi yapılan gruplandırmalarda 88 adet domates örneği içersinde yer alan yeşil olum ve renk kırılma dönemindeki domateslerin ($n = 20$ adet) sertlik ortalaması $3.38 \pm 0.67\ N\ mm^{-1}$, renk dönüşüm dönemi ve pembe olum sertlik ortalaması ($n = 32$ adet) $1.86 \pm 0.40\ N\ mm^{-1}$ ve açık kırmızı ve kırmızı olum dönemi ($n = 36$ adet) sertlik ortalaması da $1.28 \pm 0.23\ N\ mm^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Kümeleme analizi sonuçlarına göre elde edilen ortalama sertlik değerleri ile karşılaştırıldığında birbirine yakın değerlerin olduğu belirlenmiştir.

Ana çarpma parametreleri; A_{maks} , t_{maks} ve t_{temas} domateslerin sertliği hakkında doğrudan bilgi verebilmektedir. Domates örnekleri için üç farklı sertlik grubundaki ana çarpma parametre sonuçları Çizelge 4’te verilmiştir.

Çizelge 4- Domateslerin üç sertlik grubundaki ana çarpma parametre ölçümleri

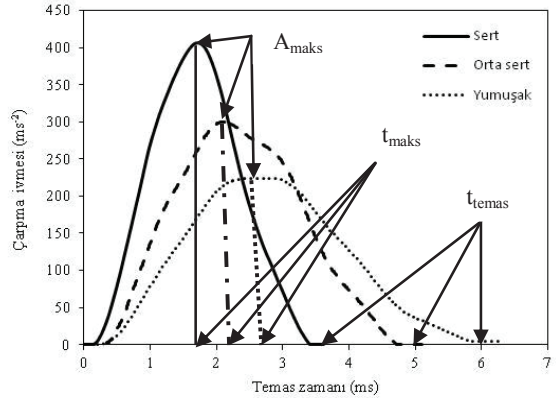
Table 4- Measurements of main impact parameters for three firmness groups of tomatoes

Parametre	Sınıflandırma grubu		
	Sert (13)	Orta sert (48)	Yumuşak (27)
A_{maks}	383.60 ± 23.20^a	316.60 ± 24.70^b	261.20 ± 27.30^c
t_{maks}	2.02 ± 0.18^a	2.08 ± 0.16^a	2.24 ± 0.22^b
t_{temas}	4.50 ± 0.34^a	5.01 ± 0.32^b	5.62 ± 0.45^c

Aynı satırda farklı harflerle gösterilmiş değer ortalamaları arasındaki fark Scheffé testi sonucuna göre $P \leq 0.05$ düzeyinde önemli çıkmıştır

Ana çarpma parametreleri için üç sertlik grubu ortalama değerleri arasındaki fark $P \leq 0.05$ önem düzeyinde Scheffe testi kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, A_{maks} çarpma parametresi ortalama değerleri üç sertlik grubunda da istatistiksel olarak önemli farklılıklar göstermiştir. t_{maks} çarpma parametresinin sert ve orta sert grupları arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuş olup yumuşak sertlik grubu ortalama değeri diğer sertlik gruplarından farklılıklar göstermiştir. Bu durum t_{maks} çarpma parametresinin sert ve orta sert domates gruplarını ayırmada başarısız olduğu anlamına gelmektedir. Temas süresi, t_{temas} çarpma parametresi ortalama değerleri arasındaki fark da üç sertlik grubu için $P \leq 0.05$ düzeyinde önemli çıkmıştır. Şekil 3’de görüldüğü gibi sert domates örneği ile karşılaştırıldığında yumuşak sertlik grubundaki domates örneği daha uzun temas süresinde daha düşük maksimum çarpma ivmesine ulaşmaktadır. Bu nedenle, A_{maks} ve t_{temas} ana çarpma parametreleri etkili bir sertlik belirleyici olarak kullanılabilir. Ana çarpma parametrelerinin her biri için ayrı yapılan doğrusal ayırma analizi sonuçları Çizelge 5’te verilmiştir.

A_{maks} çarpma parametresi sert sınıflandırma grubunda yer alan 13 adet domatesin tamamını (13/13= % 100) aynı gruba sınıflandırabilmiştir. Bu sınıflandırma başarısı orta sert ve yumuşak domates grupları için sırasıyla % 66.67 (32/48) ve % 81.48 (22/27) olarak hesaplanmıştır. t_{maks} çarpma parametresi üç sertlik grubu içinde yüksek sınıflandırma başarısı gösterememiştir. Başarı yüzdeleri sert, orta sert ve yumuşak domates grupları için sırasıyla % 61.54, % 27.08 ve % 48.15 olarak hesaplanmıştır. En düşük sınıflandırma başarı yüzdesi orta sert grupta



Şekil 3- Domates örneklerinin üç sertlik seviyesindeki çarpma ivmesi ve temas zamanı eğrileri

Figure 3- Impact acceleration and contact time curves at three firmness levels of tomato samples

gerçekleşmiştir. t_{temas} çarpma parametresinde ise en yüksek sınıflandırma başarı yüzdesi yumuşak sertlik grubunda gerçekleşmiştir (% 81.48). Bunu sırasıyla sert (% 76.92) ve orta sert (% 70.83) sertlik grupları izlemiştir. Scheffe testi sonuçlarına göre, t_{temas} çarpma parametresinin ortalama değerleri arasındaki fark önemli bulunmasına rağmen, sınıflandırma başarı yüzdesi A_{maks} çarpma parametresindeki sınıflandırma başarı yüzdesinden daha düşük bulunmuştur. Ana çarpma parametresi, A_{maks} kullanılarak yapılan sınıflandırmada tüm sertlik grupları için doğru sınıflandırma hassasiyeti % 76.14 olarak hesaplanmıştır. Gutierrez et al (2007) ve Lien et al (2009) adlı araştırmacılar doğru sınıflandırma hassasiyetinin % 75.00’in üzerinde

Çizelge 5- Ana çarpma parametrelerine bağlı domates sınıflandırma hassasiyeti

Table 5- Accuracy of tomato classification depend on main impact parameters

Parametreler	Sınıflandırma grubu			Toplam	Hassasiyet (%)
	Sert (13)	Orta sert (48)	Yumuşak (27)		
A_{maks}	13 (100) ^b	32 (66.67)	22 (81.48)	63	76.14 ^a
t_{maks}	8 (61.54)	13 (27.08)	13 (48.15)	34	38.64
t_{temas}	10 (76.92)	34 (70.83)	22 (81.48)	66	75.00

^a, doğru sınıflandırma hassasiyeti = % 76.14 (13+32+22)/88; ^b, parantez içindeki değerler gerçek sınıfların başarılı sınıflandırma yüzde değerlerini göstermektedir

olması gerektiğini ifade etmişlerdir. % 76.14'lük doğru sınıflandırma hassasiyeti sonucu % 75.00'den daha yüksek olduğu için sadece A_{maks} ana çarpma parametresi kullanılarak kabul edilebilir sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür. Üç ana çarpma parametresini (A_{maks} , t_{maks} ve t_{temas}) birlikte kullanarak yapılan doğrusal ayırma analizi sonuçları Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 5 teki sonuçlar ile karşılaştırıldığında (% 76.14), doğru sınıflandırma hassasiyetinin üç ana parametre kullanımı ile bir miktar yükseldiği (% 77.30) Çizelge 6'dan görülebilmektedir. Üç ana çarpma parametresi için doğrusal ayırma analizi kullanılarak belirlenmiş olan doğru sınıflandırma hassasiyetini yükseltmek amacıyla ana çarpma ve bunlardan türetilmiş diğer parametreleri kullanarak ayırma analizi yapılmış ve sonuçlar Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7'de görüldüğü gibi, bulunduğu sertlik grubuna domateslerin atanma yüzdeleri yüksek

çıkış ve sert grup için % 84.62, orta sert grup için % 81.25 ve yumuşak grup için de % 81.48 olarak hesaplanmıştır. Üç sertlik grubu için doğru sınıflandırma hassasiyeti de % 77.27'den % 81.82'ye yükselmiştir. En başarısız sınıflandırma yumuşak sertlik grubunda belirlenmiş ve 27 adet yumuşak sertlik grubundaki domates örneklerinin 5 adedi orta sert olarak sınıflandırılmıştır. Çizelge 7'de verilmiş olan on çarpma parametresinin kullanımı, sayısal ve mantıksal işlemlerin gerçek zamanlı uygulamalarında karmaşıklıklara neden olabilir. Bu nedenle, çarpma parametre sayısını azaltmak için stepwise regresyon analizi kullanılmıştır. Stepwise regresyon analizi sonuçlarına göre A_{maks}/t_{maks} , $A_{maks}^{2.5}$, $A_{maks}/(t_{temas})^2$ çarpma parametrelerinin istatistiksel olarak en önemli parametreler olduğu belirlenmiştir. Stepwise regresyon analizine ilişkin istatistiksel değerlendirme sonuçları Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 6- Ana çarpma parametreleri; A_{maks} , t_{maks} , t_{temas} için doğrusal ayırma analizi kullanılarak yapılan domates sınıflandırma hassasiyeti

Table 6- Accuracy of tomato classification using linear discriminating analysis for main impact parameters; A_{maks} , t_{maks} , t_{temas}

Sınıflandırma grubu	Analiz sonucu sınıflandırma grubu			Toplam
	Sert	Orta sert	Yumuşak	
Sert	12 ^a (92.31) ^b	1 (7.69)	0 (0.00)	13
Orta sert	6 (12.50)	34 ^a (70.83)	8 (16.67)	48
Yumuşak	0 (0.00)	5 (18.52)	22 ^a (81.48)	27

^a, doğru sınıflandırma hassasiyeti = % 77.27 (12+34+22)/88; ^b, parantez içindeki değerler gerçek sınıfların başarılı sınıflandırma yüzde değerlerini göstermektedir

Çizelge 7- Tüm çarpma parametreleri; A_{maks} , t_{maks} , t_{temas} , A_{maks}/t_{maks} , $1/t_{maks}$, $(1/t_{maks})^{2.5}$, $(A_{maks}/t_{maks})^{1.25}$, $A_{maks}^{2.5}$, $A_{maks}/(t_{maks})^2$, $A_{maks}/(t_{temas})^2$ için doğrusal ayırma analizi kullanılarak yapılan domates sınıflandırma hassasiyeti

Table 7- Accuracy of tomato classification using linear discriminating analysis for all impact parameters; A_{maks} , t_{maks} , t_{temas} , A_{maks}/t_{maks} , $1/t_{maks}$, $(1/t_{maks})^{2.5}$, $(A_{maks}/t_{maks})^{1.25}$, $A_{maks}^{2.5}$, $A_{maks}/(t_{maks})^2$, $A_{maks}/(t_{temas})^2$

Sınıflandırma grubu	Analiz sonucu sınıflandırma grubu			Toplam
	Sert	Orta sert	Yumuşak	
Sert	11 ^a (84.62) ^b	2 (15.38)	0 (0.00)	13
Orta sert	2 (4.17)	39 ^a (81.25)	7 (14.58)	48
Yumuşak	0 (0.00)	5 (18.52)	22 ^a (81.48)	27

^a, doğru sınıflandırma hassasiyeti = %81.82 (11+39+22)/88; ^b, parantez içindeki değerler gerçek sınıfların başarılı sınıflandırma yüzde değerlerini göstermektedir

Çizelge 8- Stepwise regresyon analizine göre en önemli çarpma parametrelerinin istatistiksel sonuçları

Table 8- Statistical results of the most significant impact parameters according to stepwise regression analysis

Parametreler	Kısmi R ²	F değeri	Olasılık > F
A_{maks}/t_{maks}	0.92	20.287	<0.0000
$A_{maks}^{2.5}$	0.89	35.099	0.0000
$A_{maks}/(t_{temas})^2$	0.91	25.885	0.0000

R², belirtme katsayısı

Çizelge 9’da A_{maks}/t_{maks} , $A_{maks}^{2.5}$, $A_{maks}/(t_{temas})^2$ çarpma parametreleri kullanılarak doğrusal ayırma analizine göre belirlenmiş olan sınıflandırma hassasiyeti sonuçları verilmiştir.

Stepwise regresyon analizi sonucunda belirlenen en önemli üç çarpma parametresi kullanılarak, tüm sertlik grubu için % 82.96’lık doğru sınıflandırma hassasiyeti ile domateslerin sınıflandırılabilceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, on çarpma parametresi kullanılarak hesaplanan % 81.82’lik doğru sınıflandırma hassasiyeti % 82.96’ya yükseltilmiştir. Çizelge 9’da görüldüğü gibi sert grupta yer alan 13 adet domatesten 2 tanesi % 15.38’lik hata ile orta sert gruba ayrılmıştır. En yüksek sınıflandırma hatası sert grupta gerçekleşmiştir. Bu durumda, stepwise regresyon analizi ile belirlenen üç parametre kullanımının, daha yüksek doğru sınıflandırma hassasiyeti ve daha az çarpma parametresi içermesi nedeniyle gerçek zamanlı uygulamalarda daha pratik olacağı söylenebilir.

Çizelge 9- Üç çarpma parametresi; A_{maks}/t_{maks} , $A_{maks}^{2.5}$, $A_{maks}/(t_{temas})^2$ için doğrusal ayırma analizi kullanılarak yapılan domates sınıflandırma hassasiyeti

Table 9- Accuracy of tomato classification using linear discriminating analysis for three impact parameters; A_{maks}/t_{maks} , $A_{maks}^{2.5}$, $A_{maks}/(t_{temas})^2$

Sınıflandırma grubu	Analiz sonucu sınıflandırma grubu			Toplam
	Sert	Orta sert	Yumuşak	
Sert	11 ^a (84.62) ^b	2 (15.38)	0 (0.00)	13
Orta sert	3 (6.25)	39 ^a (81.25)	6 (12.50)	48
Yumuşak	0 (0.00)	4 (14.81)	23 ^a (85.19)	27

^a, doğru sınıflandırma hassasiyeti = % 82.96 (11+39+23)/88; ^b, parantez içindeki değerler gerçek sınıfların başarılı sınıflandırma yüzde değerlerini göstermektedir

4. Sonuçlar

Mekanik hasarsız çarpma tekniği kullanılarak domates sertliğini belirlemek amacıyla, laboratuvar koşullarında düşük çarpma enerjili test cihazı kullanılmıştır. Bu teknik; sert, orta sert ve yumuşak sertlik seviyelerindeki domatesleri sınıflandırmada ve sertlik ölçümlerinde uygulanabilir bir yöntem olarak bulunmuştur.

Ana çarpma parametreleri; A_{maks}/t_{maks} , $A_{maks}^{2.5}$ ve $A_{maks}/(t_{temas})^2$ domateslerin sertlik sınıflandırması hakkında % 76.14’lük doğru sınıflandırma hassasiyeti ile belirli ölçüde bilgi vermiştir. Üç ana çarpma parametresi yerine on çarpma parametresi yaklaşımı kullanılarak domateslerin tüm sertlik grubu için doğru sınıflandırma hassasiyetleri doğrusal ayırma analiz yöntemi kullanılarak % 77.27’den % 81.82’ye yükseltilmiştir. On çarpma parametresine uygulanan stepwise regresyon analizi ile en önemli üç çarpma parametresi; A_{maks}/t_{maks} , $A_{maks}^{2.5}$, $A_{maks}/(t_{temas})^2$ olarak belirlenmiştir. Bu parametreler kullanılarak yapılan doğrusal ayırma analizine göre, doğru sınıflandırma hassasiyeti tüm sertlik grubu için % 81.82’den % 82.96’ya yükselmiştir. Ayrıca, çoklu parametre kullanımından doğacak sayısal analiz karmaşıklığı da azaltılmıştır. Üç ana çarpma ve on çarpma parametresi yaklaşımı sert domateslerin sınıflandırılması (% 92.30 ve % 84.62) için uygun bir yaklaşım iken stepwise regresyon analizi sonucunda belirlenen üç çarpma parametre yaklaşımı da yumuşak sertlik grubu (% 85.19) için daha uygun bir yaklaşım olarak belirlenmiştir. Domateslerin laboratuvar koşullarında belirlenen doğru sınıflandırma hassasiyetlerinin % 75’den yüksek çıkması, bu tekniğin elektronik

sınıflandırma hattında gerçek zamanlı kullanımını da teşvik etmektedir. Bu çalışmada domateslerin sertliğine göre sınıflandırılması amaçlanmış olup, kümeleme, doğrusal ayırma ve stepwise regresyon analiz yöntemleri kullanılarak farklı ürünler için de sınıflandırma hassasiyetlerini artırmak amaçlı benzer çalışmaların yürütülmesi uygun olacaktır.

Kaynaklar

- ASAE Standards (2009). Compression test of food materials of convex shape. ASAE S368.4 DEC 2000 (R2008). American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Michigan, USA, pp. 678-686
- Batu A (2004). Determination of acceptable firmness and colour values of tomatoes. *Journal of Food Engineering* **61**(3): 471-475
- Bui H T, Makhlof J & Ratti C (2010). Postharvest ripening characterization of greenhouse tomatoes. *International Journal of Food Properties* **13**(4): 830-846
- Chen P & Ruiz-Altisent M (1996). A low-mass impact sensor for high speed firmness sensing of fruits. In: *Proceedings of International Conference on Agricultural Engineering*, 23-26 September, Madrid, Spain, pp. 1-8
- Chen P (2001). Application of elastic theory to high speed impact sensing of fruit. In: *Workshop on Control Applications in Post-Harvest and Processing Technology*, 3-5 October, Tokyo, Japan, pp. 1-6
- Chen P & Tjan Y (1998). A real-time impact sensing system for on-line firmness sensing of fruits. In: *Conference on Agricultural Engineering*, 24-27 August, Oslo, Norway, pp. 314-315
- Garcia-Ramos F J (2001). Desarrollo de dispositivos mecanicos para reducir danos y medir la firmeza en lineas de manipulacion de frutas. Ph.D. Thesis (Unpublished). Universidad Politecnica de Madrid, Espana
- Gutierrez A, Burgos JA & Molto E (2007). Pre-commercial sorting line for peaches firmness assessment. *Journal of Food Engineering* **81**(4): 721-727
- Homer I, Garcia-Ramos F J, Ortiz-Canavate J & Ruiz-Altisent M (2010). Evaluation of non-destructive impact sensor to determine on-line fruit firmness. *Chilean Journal of Agricultural Research* **70**(1): 67-74
- Kader A A, Morris L L & Chen P (1978). Evaluation of two objective methods and a subjective rating scale for measuring tomato fruit firmness. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **103**(1): 70-73
- Lesage P & Destarin M (1996). Measurement of tomato firmness by using a non-destructive mechanical sensor. *Postharvest Biology and Technology* **8**(1): 45-55
- Lien C C, Ay C & Ting C H (2009). Non-destructive impact test for assessment of tomato maturity. *Journal of Food Engineering* **91**(3): 402-407
- Mohsenin N N (1970). Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach Science Publisher, New York
- Ortiz-Canavate J, Garcia-Ramos F J & Homer I (2001). Determination of firmness in a fruit packing line using nondestructive impact sensor. In: *Fruits, Nuts and Vegetable Production Engineering*, 11-14 September, Postdam, Germany, pp. 457-462
- Schotte S, Belie N D & Baerdemaeker J D (1999). Acoustic impulse-response technique for evaluation and modelling of firmness of tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology* **17**(2): 105-115
- Sirisomboon P, Tanaka M & Kojima T (2012). Evaluation of tomato textural mechanical properties. *Journal of Food Engineering* **111**(4): 618-624
- Sirisomboon P, Tanaka M, Kojima T & Williams P (2012a). Nondestructive estimation of maturity and textural properties on tomato "Momotaro" by near infrared spectroscopy. *Journal of Food Engineering* **112**(3): 218-226
- Slaughter D C, Ruiz-Altisent M, Thompson J F, Chen P, Sarig Y & Anderson M (2009). A handheld low-mass impact instrument to measure nondestructive firmness of fruit. *Transactions of the ASAE* **39**(3): 1019-1023
- Tiwari G, Slaughter D C & Cantwell M (2013). Nondestructive maturity determination in green tomatoes. *Postharvest Biology and Technology* **86**: 221-229
- USDA (1976). United State Standars for Grade of Fresh Tomatoes. US Dept. Agric., Mktg., ser., Washington D.C., pp.10
- Van linden V, De Katelaere B, Desmet M & De Baerdemaeker J (2006). Determination of bruise susceptibility of tomato fruit by means of an instrumented pendulum. *Postharvest Biology and Technology* **40**(1): 7-14
- Yurtlu Y B & Erdoğan D (2005). Domates çeşitlerinde depolama süresinin bazı mekanik özelliklere etkisinin araştırılması. *Tarım Bilimleri Dergisi-Journal of Agricultural Sciences* **11**(2): 201-206
- Yurtlu Y B (2012). Comparison of nondestructive impact and acoustic techniques for measuring firmness in peaches. *Journal of Food Agriculture and Environment* **10**(2): 180-185